

Гольдин Е.Б.

Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Крымский агротехнологический университет, п/о Аграрное, г. Симферополь, АР Крым, Украина, 95492, тел.: +38 (0652) 221 389; e-mail: Evgeny_goldin@mail.ru

ЦИАНОБАКТЕРИИ И РАСТИТЕЛЬНОВАДНЫЕ ОРГАНИЗМЫ: ОСОБЕННОСТИ МЕЖВИДОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ

Характер действия проб природных популяций цианобактерий, собранных в бассейне Днепра в период “цветения” воды, на растительноводные организмы был изучен в модельных экспериментах. В качестве тест-объектов использованы колорадский жук и американская белая бабочка в различных возрастных фазах. Показано, что цианобактерии проявляют детеррентное и ингибирующее действие в большей степени, чем токсичное.

К л ю ч е в ы е с л о в а: цианобактерии, растительноводные организмы, межвидовые отношения, химическая экология.

Биологически активные вещества цианобактерий, играющие важную роль в межвидовых отношениях в водной среде, привлекают внимание широкого круга специалистов и вызывают неоднозначную оценку их экологической природы. За последние 30 лет описано много примеров долгосрочных и многосторонних симбиотических, антагонистических и паразитических связей, существующих между цианобактериями и растительноводными членистоногими (“grazers”) в естественных экосистемах и зависящих от комплексных биохимических взаимодействий. Результаты исследований показывают, что вторичные метаболиты цианобактерий выполняют защитную функцию и значительно отличаются от известных биотоксинов, поражающих теплокровных животных и гидробионтов во время “цветений” воды [5]. Эти вещества влияют на жизненные функции конкурентов и/или растительноводных организмов, вызывая стресс, репеллентный и детеррентный эффекты (но не элиминацию!) [5], и служат важным инструментом в построении межвидовых взаимоотношений в водных экосистемах. Защитные реакции цианобактерий очень близки к проявлениям ингибирующей активности микроводорослей и макрофитов по отношению к растительноводным консументам [10] или наземных растений, которые продуцируют аллелохимические вещества для защиты от других растений или микробных патогенов [3, 4, 6]. С практической точки зрения биоцидные метаболиты цианобактерий могут быть источником препаратов для сельского хозяйства и медицины, предназначенных для биологического контроля численности вредных организмов, что представляет собой одну из наиболее перспективных тенденций в прикладном аспекте использования вторичных метаболитов [4–6, 8, 11]. Ранее проведенные нами эксперименты подтвердили теоретические предположения, выявив



антибактериальные [1], антигельминтные [2], детеррентные, метатоксические и энтомоцидные свойства цианобактерий [6–9].

В представленной статье на примере некоторых данных, отражающих ингибирование жизненных функций наземных членистоногих (растительноядных насекомых с различными типами питания), впервые предпринята попытка оценки биоцидной активности цианобактерий в природе, что поможет сделать шаг в направлении понимания процессов, происходящих в водных экосистемах.

Материалы и методы

Пробы природного материала цианобактерий были отобраны в бассейне Днепра в период традиционного летне-осеннего “цветения” воды в сотрудничестве с Институтом гидробиологии НАН Украины. В таксономической структуре проб доминировал *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. (70,0–100,0%); также присутствовали *Microcystis* spp., *Anabaena variabilis* Kütz., *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born et Flah., *Phormidium mucicola* Hub.-Pest. et Naum. и *Phormidium* spp. Биомассу цианобактерий подвергали тепловой (37 °С), лиофильной, вальцевой или ацетоновой сушкам, а затем измельчали при помощи лабораторных мельниц для получения экспериментальных порошковидных препаративных проб. Водными суспензиями (0,5 и 1,0%) вариантов полученного порошка при помощи лабораторного распылителя опрыскивали листья, предназначенные для питания насекомых. В качестве тест-объектов использовали различные возрастные фазы американской белой бабочки *Hlyphantia cunea* Drury (полифаг) и яйца, личинки разных возрастов и имаго колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (олигофаг), собранные в природных популяциях; для питания им предлагали листья наиболее типичного растения-хозяина (картофеля для колорадского жука и клена ясенелистного для американской белой бабочки). Насекомых содержали в стеклянных сосудах емкостью 1,0 л, по 10 особей в каждом, вариант опыта включал 5–10 повторностей. В модельных экспериментах определяли биоцидную активность цианобактерий, наблюдая за питанием (процент потребленной листовой поверхности/на одну особь), пищевым поведением, ростом, метаморфозом и выживаемостью в течение 10–20 суток.

Результаты и их обсуждение

Первичные препараты цианобактерий обладали общим ингибирующим эффектом и угнетали ряд жизненных функций насекомых (питание, метаморфоз, рост, размножение и выживаемость), особенно в случаях потребления корма на стадии младших личиночных возрастов. В то же время эффект последствия проявлялся в нарушениях процессов окукливания, формирования имаго и личиночном, куколочном и имагинальном тератогенезе. Вероятность выживания тест-объектов в результате совокупного действия ингибирующих факторов значительно снижалась. Сопоставление и анализ показателей угнетения процессов питания, роста, метаморфоза и сроков наступления гибели в вариантах с различными препаративными формами показали, что процент доминирования *M. aeruginosa* в популяции оказывает влияние на проявление биоцидной активности. Подавление трофической функции личинок подтверждается визуальными наблюдениями и данными измерения листовой поверхности. Ниже приведены примеры детеррентной активности некоторых проб ассоциаций цианобактерий: (1) *M. aeruginosa* – 70,0%, *A. flos-aquae* – 30,0%;



(2) *M. aeruginosa* – 98,0%, *A. flos-aquae* – 2,0%; (3) *M. aeruginosa* – 90,0%, *A. flos-aquae* – 10,0% (табл. 1).

Таблица 1

Детеррентная активность биомассы цианобактерий

Table 1

Deterrent activity of cyanobacterial biomass

№.№ проб	Способ обработки биомассы	Потребление обработанных листьев на протяжении 10 дней, % от контроля					
		Колорадский жук			Американская белая бабочка		
		2 возраст	3 возраст	4 возраст	2 возраст	3 возраст	4 возраст
1	Вальцевая сушка	42,8±4,0	40,8±5,5	—	11,1±0,2	—	19,6±3,5
2	Лиофильная сушка	18,7±3,2	55,0±7,5	—	1,5±0,2	2,0±0,5	42,0±7,7
	Тепловая сушка	18,0±4,6	49,8±7,0	74,4±3,2	0	12,0±2,6	32,2±10,6
	Водный фильтрат сырой биомассы (1:1)	7,1±2,2	35,7±6,1	79,1±1,9	12,0±1,0	29,5±9,7	32,5±8,3
3	Тепловая сушка	5,8±0,6	33,9±4,8	68,3±3,2	12,2±0,4	11,5±1,9	27,8±3,2
Контроль		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Примечание: листья обработаны 0,5% суспензией порошка; в каждом варианте 150 личинок.

Ингибирование питания и отставание личинок в росте приводит к нарушениям метаморфоза. В различных вариантах опыта у колорадского жука имаго формируются в 2,0–4,4 раз реже, чем в контроле, причем процессы окукливания и выхода имаго сопровождаются значительными морфологическими отклонениями от нормы в виде тератогенеза (нежизнеспособные куколки со сморщенной кутикулой у американской белой бабочки и имаго с редуцированными надкрыльями у колорадского жука). В конечном итоге смертность регистрируется на всех фазах развития членистоногих, приводя к относительно высокому суммарному эффекту [6, 8]. Экспериментальные данные показывают, что гибель в личиночной фазе наступает не только под влиянием токсической/энтомоцидной активности, но и по причине угнетения трофической функции и ростовых процессов. Кроме того, можно проследить прямую зависимость ингибирующего и летального эффектов от концентрации водных суспензий первичных препаратов (табл. 2) и специфическое действие цианобактерий на различные виды насекомых.

Таблица 2



Смертність личинок колорадського жука другого візиту в варіанті з природної проби ціанобактерій № 2, висушеної тепловим способом

Table 2

Mortality of the second instar larvae of Colorado potato beetle caused by cyanobacterial sample N 2 (thermal drying)

Концентрація, %	Показатели смертності по строкам учета, %		
	5 сутки	10 сутки	15 сутки
0,5	33,7±6,8	45,3±6,8	64,0±8,2
1,0	100,0	0	0
Контроль	0	5,3±2,7	5,3±2,7

Примечание: в каждом варианте использовали 75 личинок.

По всей вероятности, избирательность действия зависит от спектра питания и пищевых привычек тест-объектов, их анатомических, биологических и экологических особенностей. Сравнительное гистологическое обследование насекомых выявило патологические изменения, связанные с влиянием цианобактерий и свидетельствующие о различной чувствительности тест-объектов, которая проявляется на видовом уровне [7].

Анализ данных, полученных нами и другими специалистами, позволяет предположить, что цианобактерии продуцируют ряд соединений различной химической природы с широким спектром биологической активности, который включает не менее 800 названий. Среди них можно выделить следующие группы соединений, имеющие специфическое экологическое значение в химической структуре межвидовых взаимоотношений. (1) Токсины, вызывающие гибель широкого круга гидробионтов (от цианобактерий и микроводорослей до млекопитающих) или причиняющие им косвенный/потенциальный вред (накопление в органах и тканях). Их продуцирование специализированными клетками определенных видов и штаммов (один и тот же вид может образовывать токсичные и нетоксичные популяции) связано, как правило, с появлением в экосистеме видов-антагонистов или конкурентов. (2) Токсины/совокупность токсинов, которые отпугивают растительноядные виды, осуществляя функции репеллентов и детеррентов, или ограничивают их размножение, но не вызывая летального исхода [5]. (3) Вторичные метаболиты, направленные против автотрофных конкурентов (цианобактерий, микроводорослей и т.д.), но неэффективные по отношению к растительноядным членистоногим и не принадлежащие к числу токсинов. Их существование позволило ряду авторов (Т. Smayda, А. Cembella U. Tillmann, J. Kubanek, E. Gross, B. Shaw и др.) обосновать теорию водной аллелопатии (по аналогии со сходными явлениями в наземных экосистемах). При этом нужно отметить, что полную параллель между взаимоотношениями в наземных и водных местообитаниях провести трудно из-за существенных различий в эволюционных, биохимических и экологических аспектах формирования этих процессов, причинах и особенностях проявления вторичного метаболизма, высокого уровня разнообразия метаболитов гидробионтов и их биологической активности по сравнению с наземными продуцентами и т.д. (4) Вторичные метаболиты, предназначенные для защиты от растительноядных организмов и их



личинок. К проявлению их активности относится ингибирование питания, плодовитости, подвижности и снижение уровня выживаемости водных членистоногих [11, 12]. Такие же эффекты мы наблюдали в опытах на модельных тест-объектах, что позволяет сделать заключение о защитном характере действия нетоксичных метаболитов цианобактерий (в частности, этими свойствами обладают липидные и терпеновые соединения [4, 9]).

Таким образом, по своему спектру и механизму действия биоцидная активность цианобактерий близка к действию защитных секретов низших и высших растений на растительноядные организмы. Несмотря на смертность растительноядных организмов в ряде вариантов, влияние первичных препаратов на основе цианобактерий содержит детеррентных и ингибирующих признаков больше, чем токсичных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдин Е.Б. Антибактериальная активность альгологически чистых культур цианобактерий и микроводорослей // Микробиол. журн. — 2003. — 65, № 4. — С. 68–76.
2. Гольдин Е.Б., Менджул М.И. Фаголизаты цианобактерий: их биоцидность и использование // Микробиол. журн. — 1996. — 58, № 5. — С. 51–58.
3. Гольдин Е.Б., Гольдина В.Г. Эфирные масла сосны обыкновенной и защита растений от вредных насекомых // С.-х. науки: Науч. тр. Крым. гос. аграрного ун-та. — Вып. 75. — Симферополь, 2002. — С. 50–53.
4. Гольдин Е.Б., Гольдина В.Г. Терпены природного происхождения и проблемы защиты растений // С.-х. науки: Науч. тр. Крым. гос. аграрного ун-та. — Вып. 76. — Симферополь, 2004. — С. 174–178.
5. Berry J.P., Gantar M., Perez M.H., Berry G., Noriega F.G. Cyanobacterial toxins as allelochemicals with potential applications as algaecides, herbicides and insecticides // Mar. Drugs. — 2008. — 6, 2. — P. 117–146.
6. Goldin E.B. Algological factor in pest control and its horizons. — Proc. 2nd Internat. Conf. Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST 95 (Ed E. Ozhan), Tarragona, Spain, 1995. — P. 241–252.
7. Goldin E.B. Harmful cyanobacteria-invertebrates relations: histopathological picture in fall webworm. — Harmful Algae 2002: Xth HAB Internat. Conf. (Eds K.A. Steidinger et al.). — Florida Marine Research Institute, Florida Fish and Wildlife Commission, Florida Institute of Oceanography, IOC of UNESCO, 2004. — P. 476–478.
8. Goldin E.B., Sirenko L.A. The blue-green algae as the producers of the natural pesticides // Альгология. — 1998. — № 1. — С. 93–104.
9. Goldin E.B., Goldina V.G. Insecticidal activity of harmful cyanobacteria: the role of terpene substances. — Harmful Algal Blooms 2000 (Eds G. Hallegraeff et al.). — IOC of UNESCO, Paris. — P. 403–406.
10. Hay M., Duffy J.E., Pfister C.A., Fenical W. Chemical defense against different marine herbivores: are amphipods insect equivalents? // Ecology. — 1987. — 68. — P. 1567–1580.
11. Macias F., Galindo J., Garcia-Diaz M., Galindo J. Allelopathic agents from aquatic ecosystems: potential biopesticides models // Phytochem. Rev. — 2008. — 7. — P. 155–178.
12. Paul V.J., Arthur K.E., Ritson-Williams R., Ross C., Sharp K. Chemical defenses: from compounds to communities // Biol. Bull. — 2007. — 213. — P. 226–251.



Є.Б. Гольдін

Південний філіал Національного університету біоресурсів і природокористування України, Кримський агротехнологічний університет, м. Сімферополь, Аграрне, АР Крим, 95492, Україна
тел.: +38 (0652) 221 389; e-mail: Evgeny_goldin@mail.ru

ЦІАНОБАКТЕРІЇ ТА РОСЛИНОЇДНІ ОРГАНІЗМИ: ОСОБЛИВОСТІ МІЖВИДОВИХ ВІДНОСИН

Реферат

Характер дії проб природних популяцій ціанобактерій, що були зібрані в басейні Дніпра під час “цвітіння” води, на рослиноїдні організми було досліджено в модельних експериментах (колорадський жук і американський білий метелик у різних фазах розвитку були використані як тест-об’єкти). Результати експериментів підтвердили, що ціанобактерії виявляють детерентну та інгібувальну дію більше за токсичну.

К л ю ч о в і с л о в а: ціанобактерії, рослиноїдні організми, міжвидові відносини, хімічна екологія.

E.B. Goldin

Southern Branch of National University of Biological Resources and Environmental Management-Crimean Agricultural and Technological University, Simferopol, Agrarne, AR Crimea, 95492, Ukraine
тел.: +38 (0652) 221 389; e-mail: Evgeny_goldin@mail.ru

CYANOBACTERIA AND HERBIVOROUS ORGANISMS: THE PROPERTIES OF INTERSPECIFIC INTERACTIONS

Summary

Cyanobacterial natural samples were collected in the Dnieper basin during traditional summer-autumn “water bloom” and the pattern of their biological activity to the herbivorous organisms was revealed in the model tests (experimental exposures of fall webworm and Colorado potato beetle were used at several life-history stages). It can be determined deterrent and inhibitory effect of cyanobacteria is displayed more likely than toxic one.

К e y w o r d s: cyanobacteria, herbivorous organisms, interspecific interactions, chemical ecology.

